



蛍光灯光源の照射波長バランスがホウレンソウと葉ネギの生育に及ぼす影響

著者	本 浩, 山崎 敬亮
雑誌名	近畿中国四国農業研究センター研究報告
巻	13
ページ	1-10
発行年	2014-03-14
URL	http://doi.org/10.24514/00001751

doi: 10.24514/00001751

蛍光灯光源の照射波長バランスがハウレンソウと 葉ネギの生育に及ぼす影響

浜本 浩¹・山崎敬亮

Key words : 蛍光灯, 作物生長, 波長バランス, 葉ネギ, ハウレンソウ

目 次

I 緒 言	1	III 結 果	3
II 材料および方法	2	1 光環境	3
1 栽培方法	2	2 第1試験	3
2 第1試験：赤, 青, 緑バイアス光の作物 生育への影響調査	2	3 第2試験	5
3 第2試験：赤バイアス光下での青, 緑色 光バランスの違いが作物生育へ及ぼす影 響調査	3	IV 考 察	6
		V 摘 要	7
		引用文献	7
		Summary	10

I 緒 言

近年, 植物工場は消費者, 食品産業, 政府や自治体などからの関心を集めている。閉鎖的, 半閉鎖的な環境での生産が, 気象環境に影響されない安定的な収穫や収穫物の安全性を高め¹⁶⁾, 消費者に安心感をもたらす。現在, 植物工場ではレタスの生産を行っていることが多いが, ハウレンソウや葉ネギのようなレタス以外の葉菜類の栽培も行われるようになってきている。近畿中国四国地域でも, 完全人工光型や太陽光・人工光併用型の植物工場が生産を行っている例がある²²⁾。完全人工光型の植物工場では, 光源として近年発光ダイオード(LED)を導入している例もあるものの, LEDの利用割合はまだ低く²²⁾, 蛍光灯を光源として用いるものが多い^{21, 22)}。しかし, 作物生産に好適な波長バランスなどはまだ明確でなく, これを明らかにすることが, 光源の利用効率の向上に関しての課題となっている。

栽培用蛍光灯として通常用いられる白色蛍光灯は青色光(波長400~500nm), 緑色光(同500~600nm), 赤色光(同600~700nm)の波長域にピークを持つ幅広い発光帯を有する。赤色光は光合成に特に有効である^{13, 18, 19)}が, 茎葉の徒長など, 形態上の異常をもたらす場合がある³⁰⁾。青色光は作物形態を正常に保つために有効とされ, 赤色光に青色光を付加することによって形態異常が緩和されたとする報告がいくつかある^{6, 27, 30, 31, 32)}。緑色光は植物葉への吸収率が低いものの^{1, 13, 18, 19)}, 光合成に利用できる^{18, 25, 29)}。また近年, 光合成以外にも, 緑色光に生理的な作用があることが指摘されている^{5, 24, 33)}。しかし, 作物生育への緑色光の影響については, トマトやマリーゴールド¹⁵⁾, レタス⁴⁾で抑制的な効果が報告された一方で, レタスについて生育促進に作用したという報告¹⁴⁾もあり, 緑色光が作物生育に有効に作用するかについては, まだ検討が必要と考えられる。

そこで, 本研究ではハウレンソウと葉ネギを蛍光

灯照射下で栽培し、生育に好適な照射光の波長バランス、特に赤色光、青色光、緑色光のバランスについて検討し、植物工場の技術的発展に資する知見を得ようとした。

本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「生物の光応答メカニズムの解明と省エネルギー、コスト削減利用技術の開発」において行った。

Ⅱ 材料および方法

1 栽培方法

作物にはホウレンソウ「アクティブ」(サカタのタネ)と葉ネギ「フレッシュ小ねぎ」(タキイ種苗)を用いた。市販の園芸培土と土を混合して0.2 g N, 1.2 g P_2O_5 , 0.2 g K_2O L^{-1} に肥料分を調整した用土を容量13 Lのプランタ(上面61×19cm, 深さ14cm)に詰め、ホウレンソウでは12カ所に各3粒点播、葉ネギでは10カ所に5～6粒条播した。ホウレンソウは生育途中で1ヶ所1株に間引いた。

実験は96W白色蛍光灯(FPR96EXNA, パナソニック)14本を光源とするグロースキャビネット(KG-50HLA, コイト電工)3台を用いて行った。室内気温と相対湿度はそれぞれ23℃と80%に設定した。光照射は、栽培前のプランタ直上で約 $200\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ の光合成有効放射(PPF = Photosynthetic Photon Flux: 波長400～700nm)になる強度とし、明期は1日12時間とした。各グロースキャビネットにはホウレンソウと葉ネギのプランタを1個ずつ配置した。

2 第1試験: 赤, 青, 緑バイアス光の作物生育への影響調査

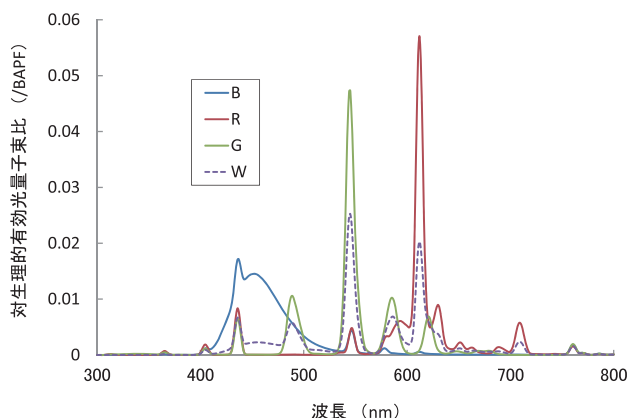
第1試験では、白色蛍光灯のみを用いた場合に比べて赤, 青, 緑色光の割合をそれぞれ大きくした(赤, 青, 緑バイアスをかけた)光の作物生育への影響を、白色蛍光灯のみで栽培した場合と比較することで評価した。グロースキャビネットの白色蛍光灯のうち、4本, 7本または10本を赤色または青色の96W蛍光灯(赤, FPR96ERA; 青, FPR96EBA, パナソニック)にそれぞれ交換する区を設け、赤バイアス, 青バイアス光の影響を調査した。なお、グロースキャビネットは3室しかないため、赤バイア

ス, 青バイアスそれぞれで、実験1(4本, 7本交換と白色蛍光灯単独), 実験2(7本, 10本交換と白色蛍光灯単独)の2回に分けて実施した。緑バイアス光の影響調査は、96W緑色蛍光灯(FPR96EGA, パナソニック)に4本と7本を交換する区を設けて行った。

蛍光灯の組み合わせは、白, 赤, 青および緑色蛍光灯をそれぞれW, R, BおよびGと示し、その横に使用した蛍光灯の本数を示すように表現した。例えば、白色蛍光灯10本と赤色蛍光灯4本の場合は、W10R4とした。各蛍光灯の光量子束の波長分布は第1図に示す。

栽培前に、プランタ直上に相当する高さの波長別光量子束を波長別エネルギー測定装置(LI-1800, ライカ)で計測した。計測した波長別光量子束の生理的有効放射(BAPF = Biological Active Photon Flux: 波長300～800nm)に対する割合を紫外線(UV: 波長300～400nm), 青色光(B: 波長400～500nm), 緑色光(G: 波長500～600nm), 赤色光(R: 波長600～700nm), 遠赤色光(FR: 波長700～800nm)に対して求めた。PPFに対するB, G, Rの割合も求めた。また、作物生育、特に伸長に影響を及ぼすとされるR/FR比^{20, 26)}も求めた。

作物の生育については、ホウレンソウ(各試験区12株)では草丈、地上部の生体重と乾物重、葉面積、葉数を調査するとともに、葉緑素計(SPAD502, コニカミノルタ)を用いて葉色(SPAD値)を計測



第1図 供試蛍光灯の光量子束の波長分布

B: 青色蛍光灯, R: 赤色蛍光灯, G: 緑色蛍光灯, W: 白色蛍光灯。

グラフは各波長での光量子束と生理的有効放射域(BAPF: 波長300～800nm)の光量子束との比を示す。

し、葉ネギでは各試験区 1 カ所につき 2 株の計 20 株をサンプリングして、草丈、地上部の生体重と乾物重、葉鞘径、葉数、葉色を計測した。

3 第 2 試験：赤バイアス光下での青、緑色光バランスの違いが作物生育へ及ぼす影響調査

第 2 試験では、赤バイアスのかかった光環境で、赤色光の割合を一定にした上で青色光と緑色光のバランスを変える処理を行った。赤色蛍光灯を 9 本、白色蛍光灯を 1 本設置し、残りの 4 本を青色蛍光灯と緑色蛍光灯にする 2 試験区を設け、赤色蛍光灯 7 本と白色蛍光灯 7 本を設置した区と比較した。同じ処理で 2 回実験を行った（実験 1、実験 2）。蛍光灯の組み合わせ表示や栽培前のプランタ直上波長別光量子束の調査、作物の生育調査は第 1 試験と同様に行った。

Ⅲ 結 果

1 光環境

グロースキャビネット内の光質については第 1 表に示す。紫外線の生理的有効放射に対する割合（UV/BAPF）はどの試験区でも少ない割合を示し

た。FR/BAPF は赤バイアス光源で高い傾向があり、最も高くなったのは W4R10 区で、約 0.08 となった。逆に青バイアス光源では低くなり、最も低い W4B10 区では 0.03 未満であった。光合成有効放射にあたる R、G、B の生理的有効放射に対する割合は、どの試験区も高く、白色蛍光灯のみの場合（W14）において R/BAPF が 0.30、G/BAPF が 0.42、B/BAPF が 0.24 程度で、赤、青、緑にバイアスをかけた場合は、それぞれの色の波長域がより高い割合になり、残りの波長域の割合が低くなった。R/FR については、W7B7 と W4B10 区で他の試験区より低くなった。

2 第 1 試験

赤バイアス光はホウレンソウの生育を促進した。特に W7R7 区では、葉色を除く項目すべてで最も大きい数値を示した。W10R4 区と W4R10 区においても、W14 区と比較すると良好な生育をしていたが、W7R7 区と比べて効果は劣った。葉色に対しての赤バイアス光の影響は明らかでなかった。一方、赤バイアス光の葉ネギの生育に対する影響は、ホウレンソウほど明確でないものの、W7R7 区で他の区よりも生育が促進される傾向がみられた。なお、赤バイ

第 1 表 各蛍光灯組み合わせ処理下の光質環境

	蛍光灯組み合わせ処理										
	W14	W10R4	W7R7	W4R10	W10B4	W7B7	W4B10	W10G4	W7G7	G4W1R9	B4W1R9
	—光量子束比—										
UV/BAPF	0.003	0.005	0.003	0.004	0.003	0.003	0.002	0.004	0.005	0.005	0.003
B/BAPF	0.235	0.181	0.139	0.103	0.378	0.512	0.608	0.211	0.203	0.099	0.247
G/BAPF	0.419	0.341	0.279	0.229	0.357	0.283	0.242	0.491	0.551	0.321	0.165
R/BAPF	0.300	0.410	0.502	0.586	0.231	0.167	0.119	0.246	0.209	0.506	0.510
FR/BAPF	0.042	0.062	0.076	0.078	0.031	0.035	0.028	0.048	0.031	0.069	0.076
B/PPF	0.247	0.195	0.151	0.112	0.391	0.532	0.627	0.223	0.211	0.107	0.268
G/PPF	0.439	0.366	0.304	0.249	0.370	0.294	0.250	0.518	0.572	0.347	0.179
R/PPF	0.314	0.440	0.546	0.638	0.240	0.174	0.123	0.259	0.217	0.547	0.553
R/FR	7.003	6.007	6.519	7.175	7.385	4.740	4.219	5.125	6.706	7.400	6.717

UV：紫外線（波長 300～400nm）、B：青色光（同 400～500nm）、G：緑色光（同 500～600nm）、R：赤色光（同 600～700nm）、FR：遠赤色光（同 700～800nm）、BAPF：生理的有効放射域（同 300～800nm）、PPF：光合成有効放射域（同 400～700nm）。

蛍光灯の組み合わせは、白、赤、青、緑色蛍光灯をそれぞれ W、R、B、G と示し、その横に使用した蛍光灯の本数を示した。

アスをかけた場合はW14区と比べ、葉色が若干薄くなる傾向があった(第2表)。

青バイアス光のハウレンソウと葉ネギの生育への影響は、W14, W10B4, W7B7の3試験区で比較し

た実験1ではあまり明確でなかったが、W14, W7B7, W4B10の3試験区で行った実験2では、青色光の割合が多いほど生育抑制する傾向がみられた。葉色の試験区間差は小さかったが、実験1のホ

第2表 赤バイアス光照射下でのハウレンソウと葉ネギの生育

調査項目		ハウレンソウ (処理)				ネギ (処理)			
		W14	W10R4	W7R7	W4R10	W14	W10R4	W7R7	W4R10
草丈 (cm)	実験1	14.7 ^c	17.3 ^b	19.8 ^a	—	31.6 ^a	29.5 ^a	32.0 ^a	—
	実験2	19.0 ^b	—	22.8 ^a	20.8 ^{ab}	33.8 ^b	—	36.8 ^a	34.6 ^{ab}
生体重 (g)	実験1	11.9 ^b	14.3 ^b	21.2 ^a	—	1.9 ^a	1.6 ^a	2.0 ^a	—
	実験2	12.3 ^b	—	23.3 ^a	17.0 ^b	1.9 ^a	—	2.3 ^a	1.9 ^a
乾物重 (g)	実験1	1.24 ^b	1.41 ^b	1.94 ^a	—	0.17 ^a	0.14 ^a	0.17 ^a	—
	実験2	1.01 ^b	—	1.78 ^a	1.34 ^b	0.15 ^a	—	0.17 ^a	0.14 ^a
葉鞘径 (mm)	実験1	—	—	—	—	3.7 ^a	3.5 ^a	3.7 ^a	—
	実験2	—	—	—	—	3.7 ^{ab}	—	3.9 ^a	3.5 ^b
葉面積 (cm ²)	実験1	261.7 ^b	310.3 ^b	450.9 ^a	—	—	—	—	—
	実験2	275.5 ^b	—	480.8 ^a	353.5 ^b	—	—	—	—
葉数 (枚)	実験1	16.0 ^a	16.2 ^a	17.8 ^a	—	5.0 ^a	4.6 ^a	4.8 ^a	—
	実験2	12.3 ^b	—	14.6 ^a	14.3 ^a	4.2 ^a	—	4.1 ^a	4.0 ^a
葉色 (SPAD)	実験1	53.1 ^a	53.8 ^a	52.7 ^a	—	61.3 ^a	57.1 ^b	58.5 ^{ab}	—
	実験2	49.3 ^a	—	47.0 ^a	48.8 ^a	58.7 ^a	—	56.0 ^{ab}	55.0 ^b

蛍光灯の組み合わせ処理の表記は第1表と同じ。

同一作物の同一実験において、異なるアルファベットが付された数値にはTukey法5%水準で有意差あり。3室のグロースキャビネットを用い、実験1と実験2の2回に分けて調査した。

第3表 青バイアス光照射下でのハウレンソウと葉ネギの生育

調査項目		ハウレンソウ (処理)				ネギ (処理)			
		W14	W10B4	W7B7	W4B10	W14	W10B4	W7B7	W4B10
草丈 (cm)	実験1	18.2 ^a	17.0 ^a	18.3 ^a	—	31.5 ^a	32.7 ^a	32.0 ^a	—
	実験2	17.9 ^a	—	14.4 ^b	13.4 ^b	31.7 ^a	—	30.5 ^a	30.0 ^a
生体重 (g)	実験1	16.8 ^a	14.4 ^a	18.6 ^a	—	1.5 ^a	1.8 ^a	1.5 ^a	—
	実験2	13.1 ^a	—	8.4 ^b	7.0 ^b	1.5 ^a	—	1.2 ^b	1.1 ^b
乾物重 (g)	実験1	1.56 ^a	1.32 ^a	1.44 ^a	—	0.14 ^a	0.17 ^a	0.14 ^a	—
	実験2	1.3 ^a	—	0.9 ^{ab}	0.7 ^b	0.13 ^a	—	0.11 ^b	0.09 ^b
葉鞘径 (mm)	実験1	—	—	—	—	3.3 ^a	3.5 ^a	3.4 ^a	—
	実験2	—	—	—	—	3.2 ^a	—	3.0 ^a	3.0 ^a
葉面積 (cm ²)	実験1	361.9 ^a	331.8 ^a	418.8 ^a	—	—	—	—	—
	実験2	294.1 ^a	—	206.2 ^b	170.3 ^b	—	—	—	—
葉数 (枚)	実験1	14.8 ^a	14.1 ^a	14.5 ^a	—	4.7 ^a	4.4 ^a	4.4 ^a	—
	実験2	12.6 ^a	—	12.1 ^a	11.2 ^a	4.7 ^a	—	4.6 ^{ab}	4.2 ^b
葉色 (SPAD)	実験1	51.0 ^a	50.7 ^a	46.1 ^b	—	59.5 ^a	60.3 ^a	58.3 ^a	—
	実験2	52.4 ^a	—	52.1 ^a	51.4 ^a	57.5 ^a	—	57.3 ^a	54.1 ^a

蛍光灯の組み合わせ処理の表記は第1表と同じ。

同一作物の同一実験において、異なるアルファベットが付された数値にはTukey法5%水準で有意差あり。3室のグロースキャビネットを用い、実験1と実験2の2回に分けて調査した。

ウレンソウではW7B7で他区より若干小さい値になった（第3表）。

緑バイアス光はハウレンソウの生育にはあまり影響を与えなかったが、葉ネギの生育には抑制的に働いた（第4表）。

なお、すべての実験、試験区において、ハウレンソウの葉が、上偏生長により、巻き込む傾向がみられた。

3 第2試験

W7R7区と比較して、G4W1R9区ではハウレンソウの生育に大差はなかった。葉ネギは若干生育が劣る場合もあった。B4W1R9区では葉ネギは若干生育が劣る傾向がみられ、ハウレンソウは劣る場合と優る場合があり明確な傾向はなかった。葉色には両作物とも明確な区間差はなかった（第5表）。第2試験でも、ハウレンソウの葉が巻く現象は全試験区で

第4表 緑バイアス光照射下でのハウレンソウと葉ネギの生育

調査項目	ハウレンソウ（処理）			ネギ（処理）		
	W14	W10G4	W7G7	W14	W10G4	W7G7
草丈(cm)	19.6 ^a	19.5 ^a	19.6 ^a	35.5 ^a	34.0 ^{ab}	31.9 ^b
生体重(g)	20.5 ^a	21.5 ^a	18.6 ^a	2.3 ^a	1.9 ^b	1.8 ^b
乾物重(g)	1.68 ^a	1.72 ^a	1.51 ^a	0.19 ^a	0.16 ^b	0.16 ^b
葉鞘径(mm)	—	—	—	3.9 ^a	3.5 ^a	3.4 ^a
葉面積(cm ²)	417.3 ^a	434.8 ^a	411.2 ^a	—	—	—
葉数(枚)	14.7 ^a	15.1 ^a	13.8 ^a	4.8 ^a	4.6 ^a	4.8 ^a
葉色 (SPAD)	53.3 ^a	52.1 ^a	52.9 ^a	59.2 ^a	59.0 ^a	58.7 ^a

蛍光灯の組み合わせ処理の表記は第1表と同じ。

同一作物の同一実験において、異なるアルファベットが付された数値にはTukey法5%水準で有意差あり。

第5表 W7R7処理から赤色光の割合を変えずに緑色光や青色光の割合を変えた場合のハウレンソウと葉ネギの生育

調査項目		ハウレンソウ（処理）			ネギ（処理）		
		W7R7	G4W1R9	B4W1R9	W7R7	G4W1R9	B4W1R9
草丈 (cm)	実験1	24.6 ^a	22.9 ^{ab}	20.5 ^b	37.4 ^a	35.8 ^a	32.2 ^b
	実験2	22.8 ^a	24.0 ^a	24.0 ^a	39.1 ^a	38.6 ^a	37.2 ^a
生体重 (g)	実験1	29.1 ^a	23.6 ^a	20.7 ^a	2.7 ^a	2.0 ^b	1.7 ^b
	実験2	25.6 ^a	24.0 ^a	30.4 ^a	3.0 ^a	2.8 ^a	2.5 ^a
乾物重 (g)	実験1	2.07 ^a	1.86 ^a	1.54 ^a	0.20 ^a	0.16 ^b	0.14 ^b
	実験2	1.90 ^a	1.80 ^a	2.14 ^a	0.23 ^a	0.22 ^{ab}	0.20 ^b
葉鞘径 (mm)	実験1	—	—	—	3.9 ^a	3.4 ^b	3.1 ^b
	実験2	—	—	—	4.0 ^a	4.0 ^a	3.6 ^a
葉面積 (cm ²)	実験1	589.3 ^a	518.0 ^a	444.7 ^a	—	—	—
	実験2	537.0 ^a	497.7 ^a	622.8 ^a	—	—	—
葉数 (枚)	実験1	13.1 ^a	14.0 ^a	12.8 ^a	5.1 ^a	4.8 ^a	4.8 ^a
	実験2	14.9 ^b	14.8 ^b	16.8 ^a	5.2 ^a	5.1 ^a	5.1 ^a
葉色 (SPAD)	実験1	46.9 ^a	50.1 ^a	49.2 ^a	57.8 ^a	59.9 ^a	58.4 ^a
	実験2	43.7 ^a	43.8 ^a	43.2 ^a	62.9 ^a	62.8 ^a	61.3 ^a

蛍光灯の組み合わせ処理の表記は第1表と同じ。

同一作物の同一実験において、異なるアルファベットが付された数値にはTukey法5%水準で有意差あり。

実験1と実験2は同じ処理を2回行った。

みられた。

Ⅳ 考 察

赤色波長域の光は他の波長域光よりも光合成に効率がよい^{13, 18, 19)}。赤色蛍光灯が白色蛍光灯と比べて光合成を促進して、トマトやレタスの乾物重や葉面積を増加させたという報告や²³⁾、赤バイアス光が葉の生長を促進したという報告もある²⁸⁾。しかし、本研究第1試験の結果では、ハウレンソウの生育にはR/BAPFで約0.5, R/PPFで約0.55になる程度の赤バイアスが最も有効で、これ以上の赤バイアスでは効果が減少することを示した。葉ネギについては白色蛍光灯のみを用いても比較的良好に生育しており、赤バイアス処理の影響がハウレンソウほど明確ではなかったが、第1表に示すように、統計的に有意でない場合が多いものの、数値的にはハウレンソウ同様の傾向がみられた。また過去の研究では、極端な赤バイアス光である赤色光単独での照射下では、同じPPFで赤色光に青色光を付加した条件よりも生育が劣ることがピーマン²⁾やコムギ⁷⁾で報告されている。これらの結果からは、作物生育用の光源は光合成に対する効率に加え、形態に対する影響なども含めて、その生育促進効果を検討するのが望ましいと考えられる。

青色光には作物形態を正常に保つ働きがあるとされ^{6, 27, 30, 31, 32)}、人工光栽培で栽培光に付加することは有効と推察されるが、本研究においては、青バイアス光は葉の伸長と重量増加を抑制する場合が多く、青色光が過剰になることは好ましくないと考えられる。青色光による、作物の伸長抑制は白クローバー²⁸⁾、トマト²³⁾、レタス^{12, 23)}において、乾物重の増加抑制はマリーゴールド¹⁰⁾においても、それぞれ報告されている。また、青色蛍光灯や緑色蛍光灯は、白色蛍光灯と比べて光合成には効率的でないとの報告もある²³⁾。

過去の報告には、形態に対する青色光の影響はその照射強度に依存していたものがある。Yorio *et al.*³²⁾は、作物種にもよるが、最低 $20 \sim 30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の青色光が照射されることで、徒長が抑制されるとした。本研究の試験では青色光が $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下に低下する処理はなかった。し

たがって、これで極端な徒長が起きなかったとも考えられるが、 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (B/PPF = 0.5) を超えるような青色光は葉の伸長を過度に抑制する場合があった。Dougher and Bugbee³⁾は青色光に対するレタスの生育反応が他の波長域の光によって影響される可能性を指摘しており、高圧ナトリウムランプではB/PPFで0.06の場合が乾物増加や葉面積拡大に好適で、メタルハライドランプではそれよりもやや多い青色光割合で好適としている。こうした報告例から、青色光に関しても、量的な面だけでなく総合的な波長バランスを考慮する必要があると考えられる。

第2試験では、赤色光の割合を、第1試験で最も好成績であったW7R7区と同じ、R/BAPFで約0.5, R/PPFで約0.55になるよう固定し、青色光と緑色光の割合を変えて、その影響を調べた。赤色光割合を固定した上でW7R7区より青色光割合を強めたB4W1R9区や緑色光割合を強めたG4W1R9区には、W7R7区を明確に上回る生育促進効果はみられなかった。

第1試験と第2試験の結果を総合すると、赤、青、緑色光のバランスでは、白色蛍光灯のみを用いた場合と比べやや赤バイアスのかかったW7R7区のそれがハウレンソウや葉ネギの生育に好適で、それより過度に赤、青、緑バイアスをかけても、生育促進効果の増大はあまり期待できないと考えられる。緑バイアス光の有効性は第1、第2試験とも明確でなかったが、栽培光に緑色光を加えること自体は、過度の赤バイアスや青バイアスを回避するためには、有効に働いたとみられる。緑色光には、赤色光や青色光の影響を調節するような役割が推測されており^{5, 33)}、付加する意義はあると考えられる。

FR光は光合成に直接作用することはないが、作物の生育には影響を及ぼすとみられる。例えば、低R/FRの光環境が作物生育を促進したとする報告がいくつかあり^{20, 26)}。白色蛍光灯単独よりもこれに白熱灯を加えて照射した方が、同じPPFでもFR光が多く付加されているため、レタスやマリーゴールドの生育を促進したという研究例もある¹⁷⁾。これに対して、本研究の青バイアスや緑バイアスをかけたランプの組み合わせ(W7B7やW7G7)では、白蛍光灯のみ(W14)と比較して低いR/FR比の光環境

であったものの、作物の生育は促進されていない。しかし、本研究の供試ランプはFR光の強度が弱いため、FR光をさらに付加するなどの処理がさらなる生育促進に有効である可能性は残る。紫外線は作物生育を抑制する場合があるが^{15, 31)}、本研究の供試ランプは紫外線の照射強度が比較的低かったため、作物の生育における試験区間差にもあまり紫外線の影響はないと考えられる。一方、ホウレンソウに紫外線を照射することで、抗酸化物質が増加したとする報告もあり¹¹⁾、紫外線付加が生産物の品質向上の手段となる可能性はある。生育抑制を最小にした上で品質が向上するような紫外線の与え方も検討する価値があろう。FR光の付加のあり方も含めて、これらは今後の課題である。

本研究の2つの試験では、屋外で生育したものより、ホウレンソウの葉に上偏生長による巻き込みがみられた。別途行った試験でもこの傾向は確認されており^{8, 9)}、蛍光灯を光源とした栽培ではしばしば起こる症状とみられる。浜本⁸⁾は蛍光灯を光源としたグロースキャビネットではホウレンソウを栽培し、葉の巻きを測定して、強光条件や、過半数の蛍光灯を緑色や赤色の蛍光灯に変換して特定波長域の放射ピークを高めた条件で、葉の巻きが強まることを見出した。これは狭い波長域でも強い光が当たった場合は葉にストレスがかかる可能性を示唆しており、栽培光源としては大きな発光ピークを持たない方が、外見上、自然環境での生育に近いものが生産できる可能性がある。

以上をまとめると、ホウレンソウや葉ネギの人工光栽培には、白色蛍光灯よりやや赤バイアスのかかった（本研究のW7R7程度）、あまり突出したピークを持たない発光特性の光源が適すると考えられる。現在、蛍光灯は植物工場の主要な光源になっているが、上記のような発光特性をもつランプが開発されれば、植物工場用の光源として有望だと推察される。

V 摘 要

蛍光灯光源のグロースキャビネットを用いてホウレンソウや葉ネギの生育に及ぼす光源の波長バランスの影響について検討し、栽培・補光用光源の開発

などに資する知見を得た。白色蛍光灯14灯を光源とするグロースキャビネットを用い、その一部を赤色、緑色、青色蛍光灯に変換することで各領域光を増強し、ホウレンソウ「アクティブ」とネギ「フレッシュ小ねぎ」をプランタ栽培した。もっとも生育促進効果が得られたバランスは、光量子束の対生理的有効放射（波長300～800nm）比で0.14（青）、0.28（緑）、0.50（赤）、対光合成有効放射（波長400～700nm）比での0.15（青）、0.30（緑）、0.55（赤）であった。赤色光や青色光の過剰な増強は、生育抑制や生育促進効果の減少を引き起こした。緑色光の増強には生育を促進する効果は認められなかった。

引用文献

- 1) Balegh, S. E. and O. Biddulph 1970. The photosynthetic action spectrum of the bean plant. *Plant Physiol.* 46: 1 – 5.
- 2) Brown, C. S., A. C. Schuerger and J. C. Sager 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120: 808 – 813.
- 3) Dougher, T. A. O. and B. Bugbee 1998. Is blue light good or bad for plants? *Life Support Biosphere Sci.* 5: 129 – 136.
- 4) ——— 2001. Evidence for yellow light suppression of lettuce growth. *Photochem. Photobiol.* 73: 208 – 212.
- 5) Folta, K. M. and S. A. Maruhnich 2007. Green light: a signal to slow down or stop. *J. Exp. Bot.* 58: 3099 – 3111.
- 6) Fukuda, N., M. Fujita, Y. Ohta, S. Sase, S. Nishimura and H. Ezura 2008. Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side resulting in inhibition of leaf epinasty in geranium under red light condition. *Sci. Hortic.* 115: 176 – 182.
- 7) Goins, G. D., N. C. Yorlano, M. M. Sanwo and C. S. Brown 1997. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with

- and without supplemental blue lighting. *J. Exp. Bot.* 48: 1407 – 1413.
- 8) 浜本 浩 2012. 蛍光灯光源グロースチャンバにおける光強度とハウレンソウの葉の巻き込みとの関係. 日本生物環境工学会2012東京大会講演要旨: 124 – 125.
- 9) ———・山崎敬亮 2007. 蛍光灯光源のグロースチャンバでのハウレンソウの葉の巻き込みに対する青色光比率増加の影響. 園学研 6 (別1): 199.
- 10) Heo, J., C. Lee, D. Chakrabarty and K. Paek 2002. Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). *Plant Growth Regulat.* 38: 225 – 230.
- 11) 東尾久雄 2001. 野菜の栽培条件と品質形成. 日本食品保存科学会誌 27: 349 – 355.
- 12) Hoenecke, M. E., R. J. Bula and T. W. Tibbitts 1992. Importance of 'blue' photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes. *HortScience*. 27: 427 – 430.
- 13) Inada, K 1976. Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant Cell Physiol.* 17: 355 – 365.
- 14) Kim, H. H., G. D. Goins, R. M. Wheeler and J. C. Sager 2004. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. *HortScience*. 39: 1617 – 1622.
- 15) Klein, R. M., P. C. Edsall and A. C. Gentile 1965. Effects of near ultraviolet and green radiations on plant growth. *Plant Physiol.* 40: 903 – 906.
- 16) Kozai, T., K. Ohyama, A. S. Zobayed, C. Kubota, T. Hoshi and C. Chun 1999. Transplant production in closed systems with artificial lighting for solving global issues on environment conservation, food, resource and energy. *Proc. ACESYS III Conf.* 343 – 357.
- 17) Krizek, D. T. and D. P. Ormrod 1980. Growth response of 'Grand Rapids' lettuce and 'First Lady' marigold to increased far-red and infrared radiation under controlled environments. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 105: 936 – 939.
- 18) McCree, K. J 1972a. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric. Meteorol.* 9: 191 – 216.
- 19) ——— 1972b. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agric. Meteorol.* 10: 443 – 453.
- 20) Murakami, K., I. Aiga, K. Horaguchi and M. Morita 1997. Red/far-red photon flux ratio used as an index number for morphological control of plant growth under artificial lighting conditions. *Acta Hort.* 418: 135 – 140.
- 21) 日本生物環境工学会植物工場部会 2009. 植物工場のニューウェーブ “ビジネススキームとイノベーション”. SHITA Report 26: 1 – 60.
- 22) 農林水産省・経済産業省 2009. 植物工場の事例集. 49.
- 23) Sager, J. C., J. L. Edwards and W. H. Klein 1982. Light energy utilization efficiency for photosynthesis. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 25: 1737 – 1746.
- 24) Sellaro, R., M. Crepy, S. A. Trupkin, E. Karayekov, A. S. Buchovsky, C. Rossi and J. J. Casal 2010. Cryptochrome as a sensor of the blue/green ratio of natural radiation in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*. 154: 401 – 409.
- 25) Sun, J. S., J. N. Nishio and T. C. Vogelmann 1998. Green light drives CO₂ fixation deep within leaves. *Plant Cell Physiol.* 39: 1020 – 1026.
- 26) Takaichi, M., H. Shimaji and T. Higashide 2000. Effect of red/far-red photon flux ratio of solar radiation on growth of fruit vegetable seedlings. *Acta Hort.* 514: 147 – 156.
- 27) 土屋広司・山崎 文・宮島博文・本間孝宜・菅博文 1997. 植物栽培への赤色LD光の応用. レーザー研究 25: 841 – 844.
- 28) Warrington, I. J. and K. J. Mitchell 1976. The influence of blue- and red-biased light spectra

- on the growth and development of plants. Agric. Meteorol. 16: 247 – 262.
- 29) Withrow, R. B. and L. Price 1957. A darkroom safelight for research in plant physiology. Plant Physiol. 32: 244 – 248.
- 30) Yanagi, T., K. Okamoto and S. Takita 1996. Effects of blue, red, and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. Acta Hort. 440: 117 – 122.
- 31) Yorio, N. C., C. L. Mackowiak, R. M. Wheeler and J. C. Sager 1995. Vegetative growth of potato under high-pressure sodium, high-pressure sodium SON-Agro, and metal halide lamps. HortScience. 30: 374 – 376.
- 32) Yorio, N. C., R. M. Wheeler, G. D. Goins, M. M. Sanwo-Lewandowski, C. L. Mackowiak, C. S. Brown, J. C. Sager and G. W. Stutte 1998. Blue light requirements for crop plants used in bioregenerative life support systems. Life Support Biosphere Sci. 5: 119 – 128.
- 33) Zhang, T. and K. M. Folta 2012. Green light signaling and adaptive response. Plant Signaling & Behavior. 7: 1 – 4.

Effects of Spectral Balance of Fluorescent Light Source on Growth of Spinach and Welsh onion

Hiroshi HAMAMOTO¹ and Keisuke YAMAZAKI

Key words: blue light, green light, growth cabinet, lamp combination, red light

Summary

We estimated the effects of light spectral balance on the growth of spinach (*Spinacia oleracea* L.) and Welsh onion (*Allium fistulosum* L.) in growth chambers lighted with fluorescent lamps. The spectral balance was altered by using blue, green, and red lamps. Both species grew best with a photon flux of 14% blue, 28% green, and 50% red within 300-800 nm (= 15%, 30%, and 55% of total photosynthetic photon flux). An excessive bias toward red or blue gave inferior growth. A bias toward green did not promote plant growth.